

## ***Simulasi Numerik Aliran Melintasi Backward Facing Step Dengan Penambahan Rectangular Bump***

Sulaiman Ali<sup>1</sup>, Luthfi Hakim<sup>2</sup>, Rusman AR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Meulaboh

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar, Meulaboh

Email: teungkusulaiman@gmail.com, Luthfihk@gmail.com, rusman@utu.ac.id

### **Abstrak**

*Rectangular bump merupakan salah satu jenis pengganggu atau turbulator dengan tujuan mengganggu aliran supaya aliran menjadi turbulen lebih awal sebelum daerah recirculation flow. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai fenomena aliran yang melewati backward facing step setelah dilakukan penambahan rectangular bump didepan daerah recirculation. Rectangular bump ditempatkan dengan jarak yang berbeda ( $s/d = 0,5$  dan  $s/d = 2$ ) dengan harapan bisa memprediksi Reattachmen length, menghitung nilai Coefficient pressure ( $C_p$ ) dan Skin friction coefficient ( $C_f$ ). Penelitian dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD) komersial. Dengan memilih berbagai model turbulensi, yaitu model Standard k- $\epsilon$  (SKE), model Realisable k- $\epsilon$  (RKE), model Standard k- $\omega$  (SKW) dan model Shear-Stress-Transport (SST) k- $\omega$  (SSTKW).*

**Keywords:** *Backward Facing Step, Computational Fluid Dynamics, Reattachment, Rectangular Bump*

### **I. PENDAHULUAN**

Penelitian tentang aliran yang melintasi *Backward facing step* telah banyak dilakukan oleh para peneliti, baik secara eksperimen maupun secara simulasi. Secara simulasi telah dilakukan oleh Skovgaard dkk [1] menginvestigasi aliran yang melintasi *Backward facing step* untuk bilangan *Reynolds* rendah dengan menggunakan model turbulensi k- $\epsilon$  model. Sedangkan secara eksperimen dilakukan oleh Restivo [2] untuk bilangan *Reynolds* 5050. Begitu pula dengan yang dilakukan oleh Peng dkk [3] memprediksi *Reattachment length* dengan membandingkan model turbulensi k- $\epsilon$  dengan model k- $\omega$ .

Paper ini mengevaluasi fenomena aliran yang melewati *Backward facing step* setelah

menyertakan gambar dan tabel yang relevan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan rectangular bump terhadap aliran yang melewati backward facing step. Penelitian dilakukan dengan menggunakan software CFD komersial. Dengan memilih berbagai model turbulensi, yaitu model Standard k- $\epsilon$  (SKE), model Realisable k- $\epsilon$  (RKE), model Standard k- $\omega$  (SKW) dan model Shear-Stress-Transport (SST) k- $\omega$  (SSTKW). Penelitian dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai fenomena aliran yang melewati backward facing step setelah dilakukan penambahan rectangular bump didepan daerah recirculation. Rectangular bump ditempatkan dengan jarak yang berbeda ( $s/d = 0,5$  dan  $s/d = 2$ ) dengan harapan bisa memprediksi Reattachmen length, menghitung nilai Coefficient pressure ( $C_p$ ) dan Skin friction coefficient ( $C_f$ ). Penelitian dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD) komersial. Dengan memilih berbagai model turbulensi, yaitu model Standard k- $\epsilon$  (SKE), model Realisable k- $\epsilon$  (RKE), model Standard k- $\omega$  (SKW) dan model Shear-Stress-Transport (SST) k- $\omega$  (SSTKW).

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi *reattachment length* dengan memvariasi jarak *rectangular bump* (s/d). Penelitian ini juga mengukur nilai *Coefficient pressure* ( $C_p$ ), *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) dan menampilkan profil kecepatan dan vektor kecepatan di daerah *reattachment length*. Dengan memilih berbagai model turbulensi, yaitu model *Standard k- $\epsilon$*  (SK $\epsilon$ ), model *Realizable k- $\epsilon$*  (SRK $\epsilon$ ), model *Standard k- $\omega$*  (SK $\omega$ ) dan model *Shear-Stress Transport* (SST) k- $\omega$  (SSTK $\omega$ ).

## II. METODE PENELITIAN

### Tahapan Penelitian

Simulasi ini menggunakan perangkat lunak CFD komersial dengan menggunakan metode diskritisasi *Second order upwind*. Simulasi dilakukan dengan asumsi aliran berupa aliran incompressible, steady, viscous, dua dimensi, dan adiabatic. Untuk menganalisa karakteristik aliran yang melintasi *Backward facing step* terdapat tahapan yang dilakukan, yaitu tahap simulasi CFD. Simulasi CFD pada aliran yang melintasi *Backward facing step* meliputi tahap *Pre-processing*, *Processing* dan *Post-processing*.

#### A. Tahap Pre-Processing

Tahap *pre-processing* merupakan tahap awal untuk menganalisa pemodelan CFD. Tahap ini terdiri dari pembuatan geometri, *meshing*, dan penentuan kondisi batas. Tahapan dalam *pre-processing* menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6.

#### Meshing dan Kondisi Batas

Pembuatan *mesh* elemen hingga (*meshing*) adalah pembagian model solid menjadi elemen-elemen kecil sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen tersebut. Karena keakuratan simulasi bergantung pada *grid* yang dibuat, sehingga dilakukan *grid independent test*. Ada empat *meshing* dengan jumlah *faces* yang berbeda. Keempat *mesh* tersebut di evaluasi dengan model turbulensi *Standard k- $\epsilon$* . Pada kecepatan *freestream* 44.2 m/s. Tabel 1 menunjukkan detail jumlah face dan  $y^+$  pada variasi *mesh*.

Tabel 1. Jumlah face dan  $y^+$  pada kedua variasi *mesh*.

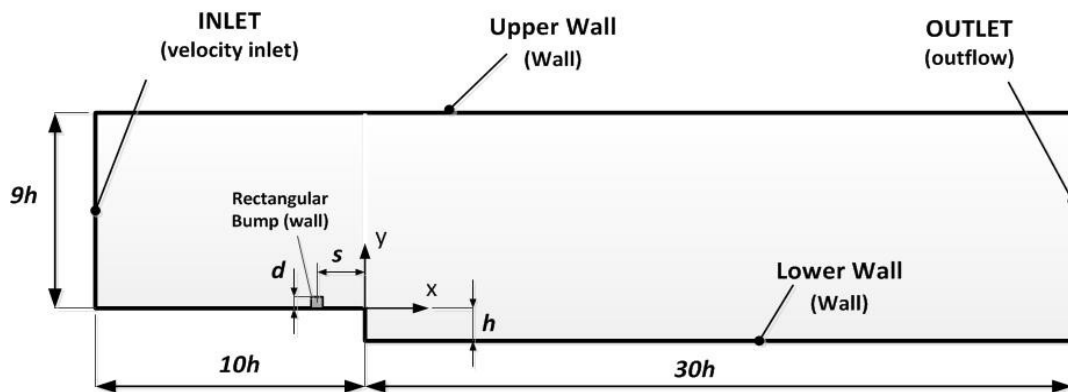
Jenis variasi	Node	Face	$y^+$ maximum	$y^+$ minimum
Mesh A	13928	27577	2372	0
Mesh B	26255	52114	2351	0
Mesh C	36805	73164	133.4	0
Mesh D	42146	83805	135.1	0

Tabel 2. *Grid Independents test* – *Coefficient pressure* ( $C_p$ )

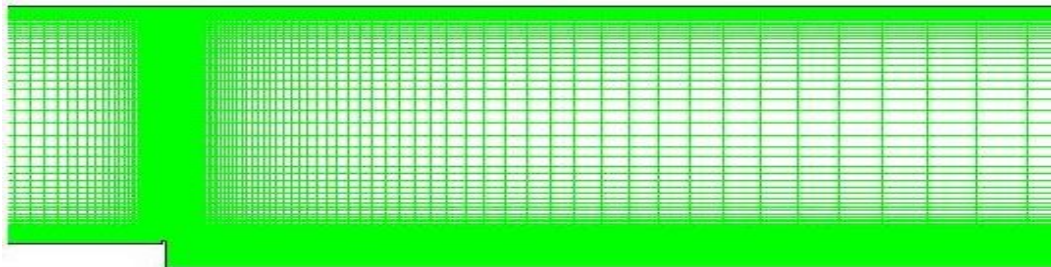
<i>Coefficients Pressure</i> ( $C_p$ )		
Eksperimental Driver, Seegmiller	0,1237	
	Nilai Prediksi	Error
Mesh A	0,1504	21,58 %

<i>Mesh B</i>	0,1497	21,02 %
<i>Mesh C</i>	0,1288	4,12 %
<i>Mesh D</i>	0,1240	0,24 %

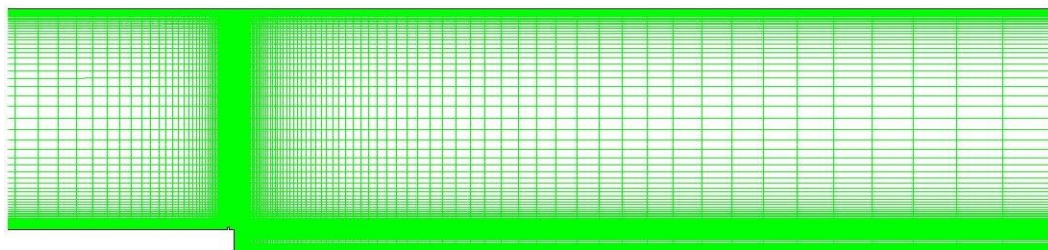
Dari hasil pada tabel 2, dipilih *mesh C* dan *D* karena nilai errornya lebih kecil dari pada *mesh A* dan *B*. Tipe kondisi batas dari model *inlet* dipilih *velocity inlet*. Sedangkan *outlet* dipilih *outflow*. Dinding atas dan bawah dipilih *Wall*, kemudian *bump* didefinisikan sendiri sebagai *wall*. Gambar 1 dan 2a, 2b secara berurutan menunjukkan geometri dan meshing yang digunakan untuk penelitian ini.



Gambar .1 Geometri *Backward facing step* dengan penambahan *Rectangular bump*



Gambar 2a. Meshing *Quadrilateral-map* pada *Backward facing step* pada variasi 1 ( $s/d = 0.5$ )



Gambar 2b. Meshing *Quadrilateral - map* pada *Backward facing step* pada variasi 2 ( $s/d = 2$ )

## **B. Tahap *Processing***

*Processing* merupakan langkah kedua dalam melakukan simulasi numerik dengan CFD. Langkah-langkah yang dilakukan meliputi: memilih *solver*, model turbulensi, sifat material yang digunakan, menentukan kondisi batas, mengatur parameter control solusi, melakukan iterasi dan menyimpan hasil iterasi.

## **C. Tahap *Post-Processing***

Proses ini merupakan proses akhir dari simulasi. Dimana hasil simulasi berupa data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa visualisasi aliran dan kontur kecepatan. Data kuantitatif berupa, koefisien gesekan ( $C_f$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ). Data kuantitatif tersebut akan diolah dengan perangkat lunak Microsoft Excel 2007. Sehingga data kuantitatif tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk grafik.

# **III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

## ***Reattachment length***

Setelah melewati *bump* kemudian melewati *facing step* sehingga aliran akan mengalami separasi sehingga terjadi aliran balik (*back flow*) yang kemudian membentuk aliran sekunder (*vortex*) di daerah dekat dinding. Hal tersebut diakibatkan oleh pembesaran penampang aliran sehingga kecepatan fluida akan menurun, fluida tidak lagi mampu melawan friksi dan tekanan balik (*back pressure*) yang berlawanan dengan arah aliran fluida inlet, sehingga aliran fluida akan terseparasi.

Aliran fluida tersebut dapat pulih kembali, tetapi butuh panjang relaksasi (*reattachment length*) dan titik awal pulihnya aliran fluida ini disebut *reattachment point*. Prediksi panjang *reattachment* ditunjukkan pada tabel 2. sebagai berikut.

Tabel 2. Panjang *Reattachment* untuk model turbulensi setelah penambahan *bump*

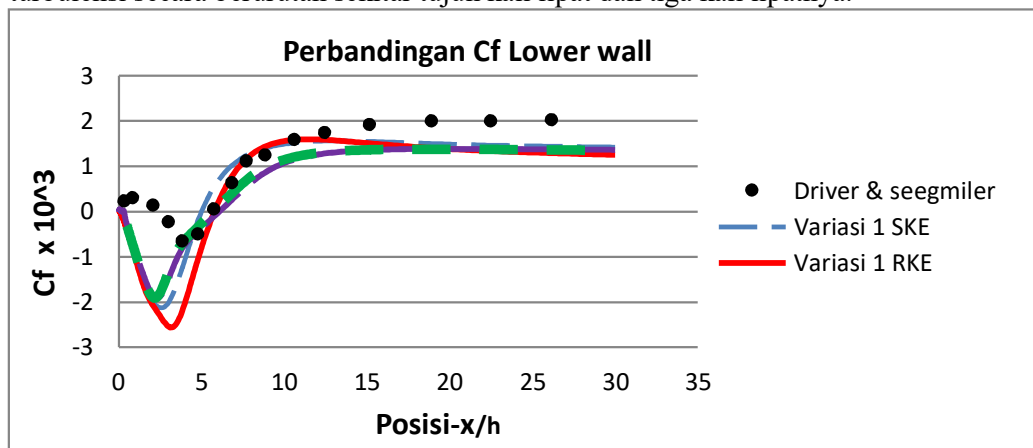
Model Turbulensi	Panjang <i>reattachment</i> untuk variasi 1 ( $s/d=0.5$ )	Panjang <i>reattachment</i> untuk variasi 2 ( $s/d=0.2$ )	Simulasi tanpa <i>bump</i> oleh Kim dkk [5]
SKE	4.9-5.1	6.9-7.1	4.9-5.1
RKE	5.7-5.9	8.4-8.6	5.7-5.9
SKW	6.6-6.9	9.2-9.4	6.7-6.9
SST	7.2-7.4	8.4-8.6	6.1-6.3

*Reattachment point* dapat ditentukan dengan cara mencari vektor kecepatan yang berharga nol pada sejumlah node yang telah di sortir. Apabila node yang telah disortir tidak menunjukkan vektor kecepatan yang berharga nol, maka titik *reattachment length* dapat diprediksi dengan menginterpolasi antara dua node yang berharga negatif dan positif. Untuk memvalidasi, simulasi yang telah dilakukan dibandingkan dengan simulasi yang dilakukan oleh Kim dkk [5].

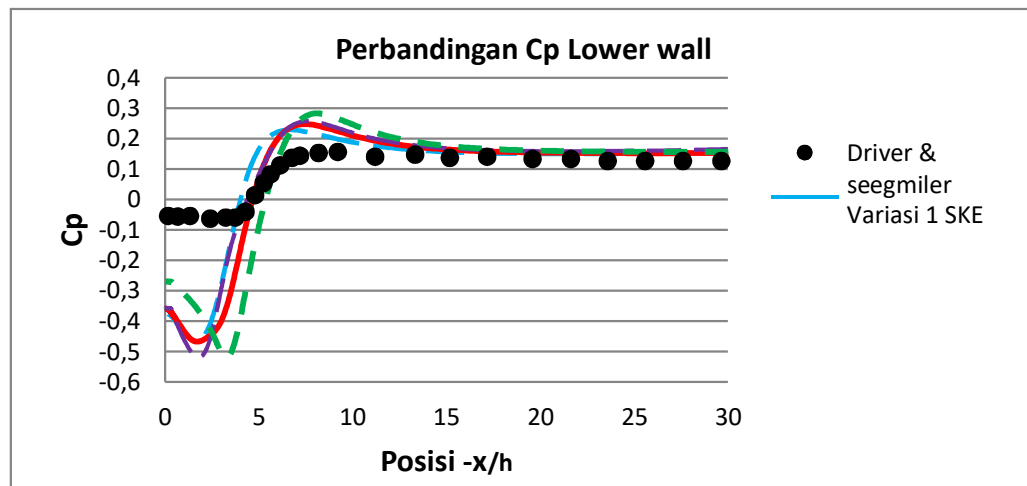
Sesui dengan percobaan yang telah dilakukan oleh Kim dkk [5], hasil dari simulasi menunjukkan bahwa ada nilai yang sama untuk beberapa model turbulensi pada variasi 1 ( $s/d = 0.5$ ), dimana pada variasi 1 *bump* diletakkan tepat sebelum adanya perbesaran penampang. Nilai panjang *reattachment* yang sama yaitu pada model SKE, RKE, sedangkan pada model, SKW dan SST memiliki nilai yang berbeda. Jika dibandingkan dengan variasi 2 ( $s/d = 2$ ), panjang *Reattachment* memiliki nilai yang lebih besar untuk semua model turbulensi. Artinya, dengan adanya penambahan *bump* yang semakin jauh dengan jarak dari *facing step* akan memperpanjang *reattachment*.

### Koefisien gesekan dan koefisien tekanan

Gambar 3a. dan 3b. menunjukkan perbandingan nilai *Coefficient pressure* ( $C_p$ ) dan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) didaerah *Bottom wall* untuk variasi 1 pada beberapa model turbulensi dengan percobaan yang dilakukan oleh Driver, Seegmiller [4]. Grafik tersebut menunjukkan *trend line* yang sama antara simulasi dan percobaan. Dengan penambahan *Rectangular Bump* akan memperbesar nilai maksimum baik pada *Coefficients Pressure* ( $C_p$ ) dan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) pada setiap model turbulensi. Penambahan nilai *Coefficients Pressure* ( $C_p$ ) dan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) untuk masing-masing model turbulensi secara berurutan sekitar tujuh kali lipat dan tiga kali lipatnya.



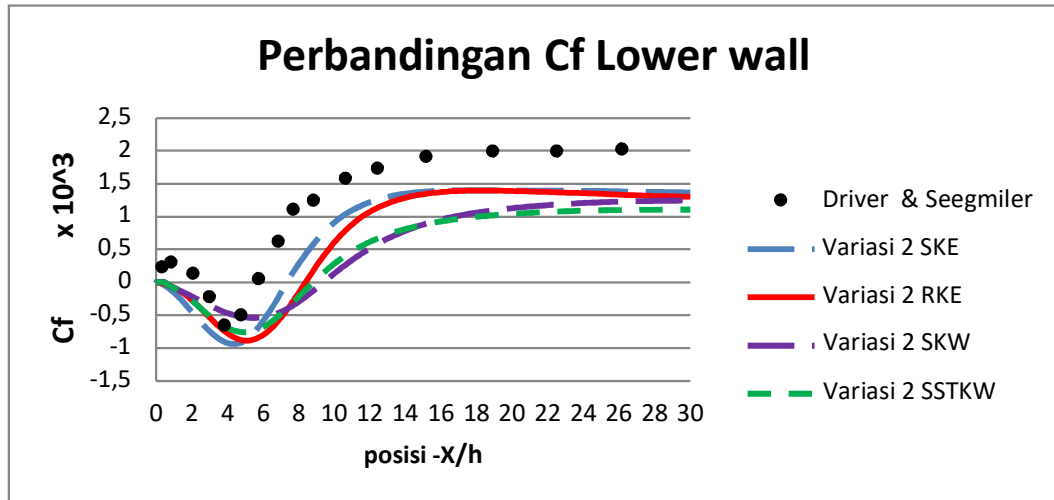
Gambar 3a. Perbandingan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) untuk variasi 1 pada beberapa model turbulensi



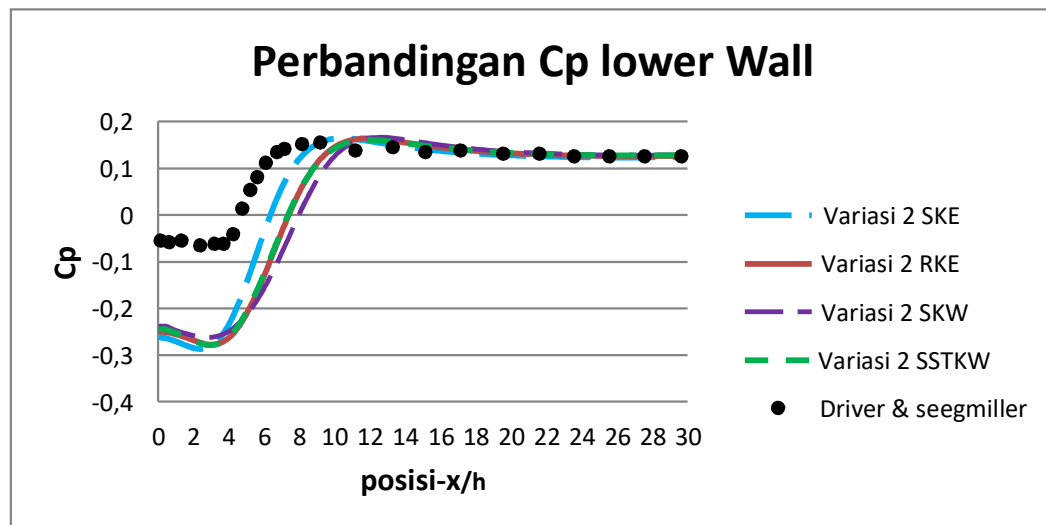
Gambar 3b. Perbandingan *Coefficients Pressure* ( $C_p$ ) untuk variasi 1 pada beberapa model turbulensi

Gambar 4a. dan 4b. menunjukkan perbandingan nilai *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) dan *Coefficients pressure* ( $C_p$ ) didaerah *bottom wall* untuk variasi 2. Grafik tersebut menunjukkan *trend line* yang sama antara simulasi dan percobaan. Dengan penambahan *Rectangular Bump* akan memperbesar nilai maksimum baik pada *Coefficients pressure* ( $C_p$ ) dan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) pada setiap model turbulensi. Penambahan nilai

*Coefficients pressure* ( $C_p$ ) dan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) untuk masing-masing model turbulensi secara berurutan empat kali lipat dan satu kali lipatnya.



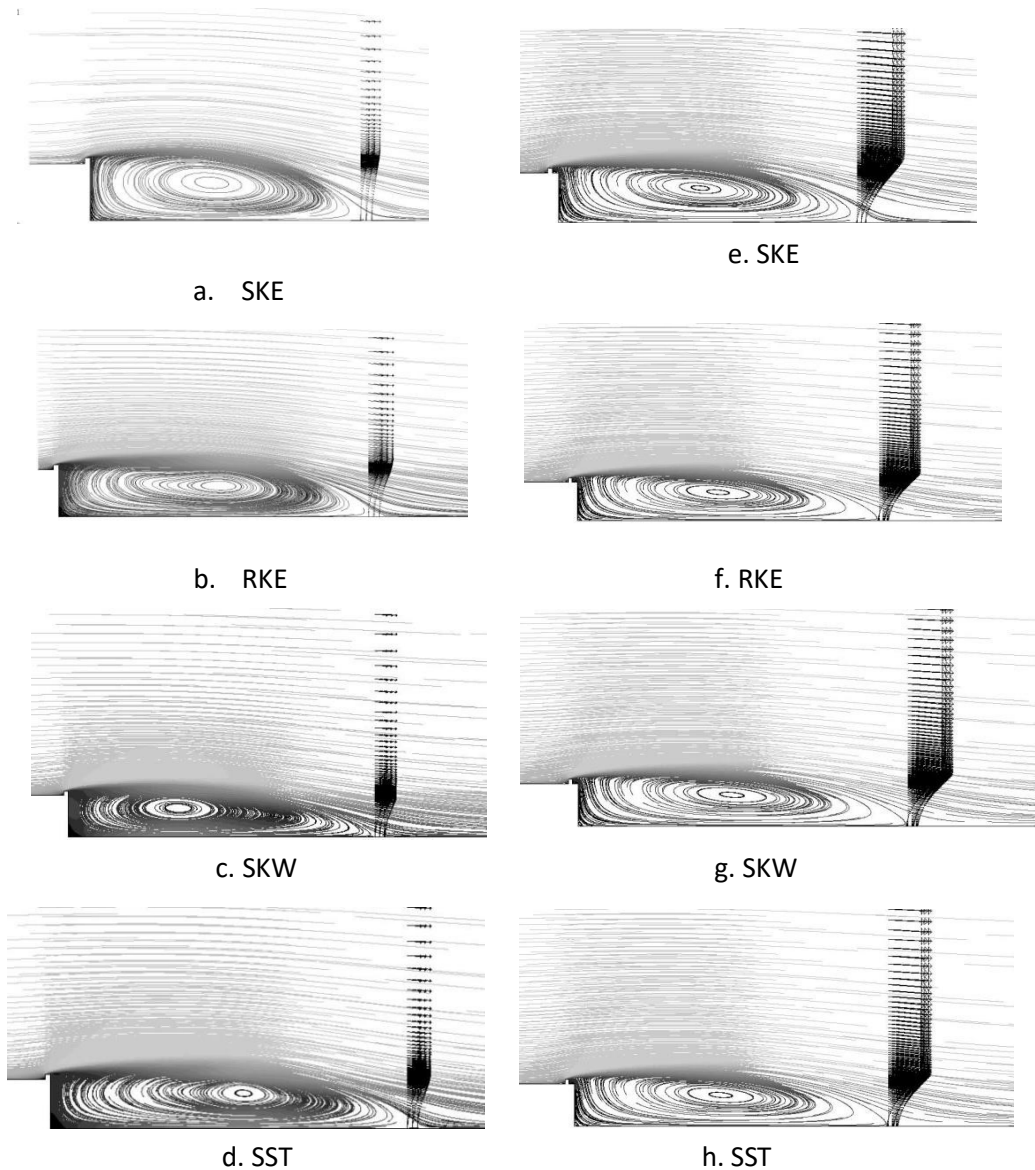
Gambar 4a. Perbandingan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) untuk variasi 2 pada beberapa model turbulensi.



Gambar 4b. Perbandingan *Coefficients pressure* ( $C_p$ ) untuk variasi 2 pada beberapa model turbulensi.

### Profil kecepatan dan Vektor Kecepatan

Kontur kecepatan yang menunjukkan terjadinya titik reattachment length terlihat pada Gambar 5. Dimana nilai vektor kecepatannya sama dengan nol. Gambar tersebut menunjukkan kecepatan *pathlines* dan *vector* kecepatan yang menunjukkan adanya aliran sekunder pada daerah *recirculation*. Nilai tekanan pada daerah tersebut berharga negative, sedangkan pada daerah setelah reattachment point bernilai positif dan cenderung konstan. Untuk variasi 2 *reactahmen length* lebih panjang dari pada variasi 1.



Gambar 5. a, b, c, d. Visualisasi kecepatan *pathline* dan vektor kecepatan pada titik *reattachment* untuk variasi 1 ( $s/d = 0.5$ ). e, f, g, h. Visualisasi kecepatan *pathline* vektor kecepatan pada titik *reattachment* untuk variasi 2 ( $s/d = 2$ )

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian diatas dengan menampilkan data kuantitatif berupa nilai *Coefficients pressure* ( $C_p$ ) dan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) serta data kuantitatif berupa visualisasi kecepatan *pathline* dan vektor kecepatan menambah informasi mengenai fenomena aliran yang melintasi *Backward facing step*, sehingga dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan penambahan *Rectangular bump* yang ditempakan sebelum daerah *Recirculation* menjadikan *Reattachment length* lebih panjang, semakin jauh penempatan *Rectangular bump* dari daerah *recirculation* semakin panjang *Reattachment length*.
2. Nilai maksimum *Coefficient pressure* ( $C_p$ ) dan *Skin friction coefficient* ( $C_f$ ) untuk





**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Skovgaard, M, Nielsen, Peter Vilhelm, (1991), "Numerical Investigation of Transitional Flow over a Backward Facing Step Using a Low", Aalborg: Dept. of Building Technology and Structural Engineering. Indoor Environmental Technology, No. 22, Vol. R9150
- [2] Restivo. A. M. O, (1979), "Turbulent flow in ventilated rooms", Imp. Coll. of Science and Tech, Mech Eng. Dept. Ph.D. Thesis
- [3] Peng Shia-Hui, (1996), "The Two-Equation Turbulence  $k-\omega$  Model Applied to Recirculating Ventilation Flows", Department of Thermo-and Fluid Dynamics.
- [4] Driver, D. M, Seegmiller, H. L, (1985), "Backward facing step with inclined opposite wall experiments"
- [5] J.Y.Kim, Afshin J. Ghajar, Clement Tang, (2005), "Comparison of near wall treatment methods for high Reynolds Number backward facing step flow", School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, 74078